La física atómica y su poder informático

Hacia las computadoras cuánticas

Ilustración Alberto Oramendi

Por Maximiliano Contieri
y Esteban Magnani

La irreverente costumbre de las partículas de comportarse de manera contraria al sentido común parece poder rendir algunos frutos inesperados. Las computadoras cuánticas, aún verdes, cuelgan esperando que alguien logre alcanzarlas para sacarles el jugo. Pero no hay que ilusionarse. Todavía queda mucho por hacer: manipular pequeños ábacos de partículas no es algo que resulte, al menos por el momento, demasiado fácil de lograr.

En la carrera hacia el aumento constante de la velocidad de las computadoras, la gigantesca industria de microprocesadores se estrella contra impedimentos físicos propios de los materiales utilizados. Por eso los científicos están abocados a buscar nuevas maneras de computar que permitan ampliar la capacidad de procesamiento hasta límites que parecían imposibles. Tareas consideradas no resolubles en tiempos razonables podrían ser develadas en pocos instantes si los científicos logran desarrollar las computadoras cuánticas.

Procesadores solidarios

La falta de velocidad para el procesamiento de datos no es un problema nuevo. Para solucionarlo se intenta, desde mediados de los 60, diseñar arquitecturas de hardware (modelos que indican cómo interconectar componentes, microcircuitos, la CPU, periféricos etc.) compuestas por procesadores paralelos (es decir, que ejecutan instrucciones de forma independiente) y que analizan datos de forma simultánea: sería como poner a todos los "superamigos" a trabajar al mismo tiempo, desde distintos ángulos, sobre el mismo tema. Sin embargo, hoy en día dichas computadoras paralelas son muy costosas y tienen usos muy específicos (procesamiento de imágenes, cálculos científicos, sistemas de control, etc.).

Como en muchos otros casos, la naturaleza se encarga de burlar al hombre poniendo en sus narices (o detrás de ellas, en sus cabezas) el botín inalcanzable, uno de los sistemas más antiguos y que mejor funciona: el nervioso. Los neurólogos creen que gran parte del poder expresivo del cerebro humano se debe al procesamiento simultáneo que permite la evaluación de miles de combinaciones (o posibles soluciones) al mismo tiempo y que permite resultados nuevos e imprevisibles.

Cuánticas al rescate

Frente a este cúmulo de dificultades los especialistas están buscando múltiples salidas. Una de ellas surge de la física cuántica. Esta teoría que explica el curioso comportamiento de las partículas a nivel subatómico no parece coincidir con lo que el sentido común dice acerca del mundo de cada día. La física cuántica teoriza acerca de fenómenos que sólo pueden explicarse diciendo cosas como: "Una partícula es capaz de estar en dos lugares al mismo tiempo" (ver recuadro).

En los años 80 tres físicos llamados Feynman, Benioff y Deutsch fueron aún más lejos y concibieron una máquina que aprovechara los fenómenos cuánticos para aumentar la capacidad de procesamiento de una computadora. Si una partícula puede estar en dos estados al mismo tiempo, se la puede utilizar para codificar, a su vez, dos datos al mismo tiempo; en caso de una computadora binaria, en 0 y 1. Si un qbit (como se llama a un átomo con información) puede estar en dos estados al mismo tiempo, dos pueden representar cuatro estados al mismo tiempo (00, 01, 11, 10), tres qbits pueden representar 8 y así sucesivamente.

A pesar de lo interesante de la teoría, la curiosidad científica no dejaba de ser una construcción útil sólo para amenizar las charlas de café entre físicos reputados. Es que no se le encontraba ninguna utilidad práctica.

Pero hace sólo 5 años un científico de la Bell Labs, Peter Shor, demostró que las computadoras cuánticas podrían ser utilizadas de manera eficiente para re- ●▶

Aquí nomás

Protones y neutrones contra el cáncer

Por Agustín Biasotti

Página 2

El antropólogo y el estudiante

Un estudiante de biología paseaba por el Museo de Antropología de La Plata. En un momento ve pasar a un profesor y aprovecha para preguntarle.
–Profesor, disculpe: ¿Cuántos años tiene ese hueso?
–Tiene 73 millones de años y seis meses.
–¡Qué precisión para calcularlo! ¿Cómo sabe?
–Acabo de obtener los resultados de las mediciones que indican que tenía 73 millones de años hace seis meses, cuando tomé las muestras.

Enviado por Gustavo Pelufo, estudiante de antropología, a futuro @pagina12.com.ar

FUTURO
Sábado 29 de mayo de 1999

Aquí nomás

Protones y neutrones contra el cáncer

Por Agustín Biasotti

El grupo de Espectroscopia Nuclear Discreta del Departamento de Física de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que dirige el doctor Andrés Kreiner, trabaja en dos líneas de investigación que pretenden hacer aportes que permitan introducir en el país dos nuevas y prometedoras alternativas terapéuticas para el cáncer: la protón-terapia y la terapia por captura neutrónica en boro.

La primera echa mano a las partículas nucleares de carga positiva llamadas protones y en varios centros médicos del mundo constituye desde hace años una alternativa para el tratamiento de ciertos tipos de cáncer. Hasta el momento, ni la Argentina ni el resto de los países del Hemisferio Sur (Sudáfrica es la excepción) cuentan con la posibilidad de tratar a sus pacientes oncológicos con esta terapia que, a diferencia de la radioterapia convencional, daña selectivamente al tejido tumoral, con lo que afecta en mucho menor medida el tejido sano que lo rodea.

Rayos selectivos

A diferencia de los fotones que se utilizan en la radioterapia convencional, que van disminuyendo su energía a lo largo de toda su trayectoria –desde que ingresan en el organismo hasta mucho después de haber alcanzado el tumor–, los protones depositan casi toda su energía al final de su recorrido. Al graduar la energía, y con ello la profundidad y la dirección del haz de protones, es posible enfocar el haz en el tumor. De esta forma, los tejidos sanos que se encuentran antes reciben muy poca radiación y los que están más allá no reciben radiación alguna. Esto hace de la protón-terapia una muy atractiva opción para tratar los tumores que se encuentren alojados o muy cerca de órganos sensibles como la próstata o el cerebro, que se ven seriamente afectados por la radiación.

"Por el momento, una de las pocas limitaciones de esta terapia es que el tumor a tratar debe estar ubicado en una zona del cuerpo que permanezca quieta, ya que la delimitación exacta de la posición y de la geometría del tumor es imprescindible para aprovechar las ventajas del haz de protones", apunta uno de los físicos de este equipo de investigación, el doctor Daniel Hojman. "Aún así, investigadores de Alemania y Japón ya están trabajando en tratar de sincronizar el haz con los movimientos de algunos órganos", agrega el doctor Kreiner.

"En el acelerador de partículas Tandar hemos logrado producir un haz externo de protones y lo estamos utilizando, en colaboración con un grupo de investigadores del Departamento de Radiobiología de la CNEA, para irradiar cultivos celulares y animales de laboratorio. Nuestro objetivo es constituir un grupo de trabajo para conseguir, en un futuro, un acelerador de mayor energía, ya que la que obtenemos en el Tandar no es suficiente para llevar a cabo radioterapia."

A la caza de neutrones

A diferencia de la protón-terapia, con la cual ya han sido tratados más de 20.000 pacientes, la terapia por captura neutrónica en boro está aún en pañales. Si bien sus principios fueron postulados hace más de treinta años, recién se encuentra atravesando los ensayos clínicos que pretenden determinar cuál es la dosis adecuada. Esquemáticamente, esta terapia se realizaría de la siguiente forma: primero se "dopa" al tumor con alguna sustancia rica en boro (un elemento que tiene una gran capacidad de absorber neutrones) y luego se lo irradia con un haz de neutrones, lo que produce una reacción que destruye las células tumorales sin afectar al tejido que no ha absorbido boro.

"Algunos compuestos que contienen boro tienden a fijarse selectivamente a las células tumorales", explica Hojman. "Una vez que el boro ha capturado los neutrones –continúa Kreiner–, se transforma en un núcleo inestable que explota en dos fragmentos, una partícula alfa y un núcleo de litio que se frenan inmediatamente dentro de la célula. Cuando se frenan dejan una densidad de energía muy alta capaz de matar a las células tumorales."

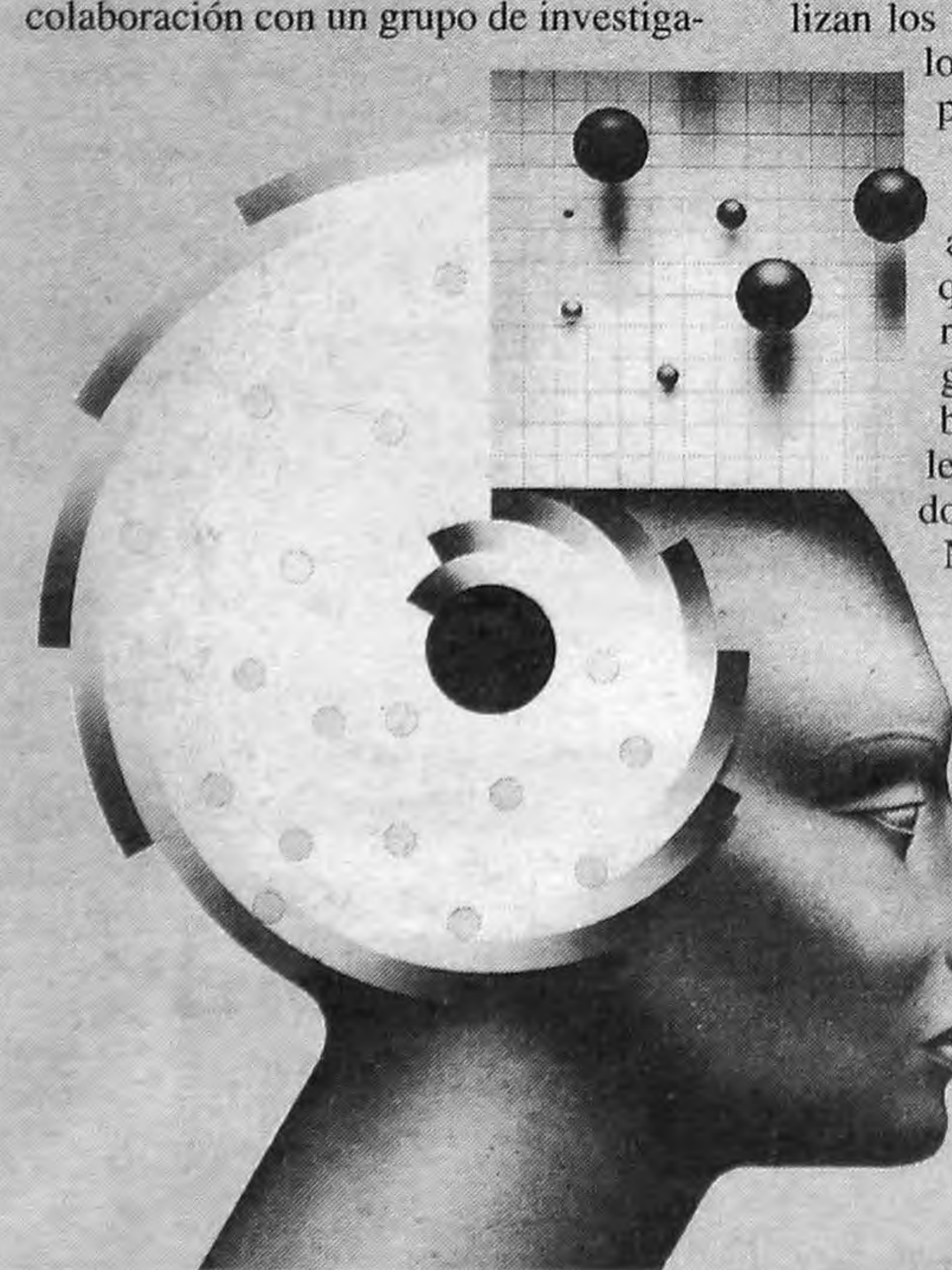
De hacerse realidad, la terapia por captura de neutrones en boro permitiría tratar tumores cerebrales muy agresivos y diseminados que no suelen responder a los tratamientos disponibles. Sin embargo, aún quedan muchas cuestiones por resolver y, entre las más importantes, se destacan: ¿cuáles son los compuestos de boro que tienen una mayor selectividad para fijarse en el tejido tumoral? y ¿cuáles son las fuentes de neutrones más apropiadas para llevar adelante esta terapia?

Con respecto al primer interrogante, son muchas las sustancias que actualmente se encuentran bajo la lupa. Según Kreiner, "los compuestos de boro disponibles se fijan entre tres y cuatro veces más en células tumorales que en tejido sano. Y si bien ésta es una buena relación, ampliarla a diez permitirá bajar notablemente la intensidad con que se irradia al paciente. La temática está siendo estudiada por investigadores del Departamento de Radiobiología de la CNEA".

Aceleradores de protones

En cuanto a las fuentes de neutrones más apropiadas, si bien hoy en día se utilizan los reactores, hay una alternativa: los pequeños aceleradores de protones. "Existe una percepción generalizada de que si esta técnica va a tener éxito será a través de su aplicación con pequeños aceleradores, porque los reactores son equipos caros, grandes y complejos, imposibles de instalar en los hospitales", comenta Kreiner. "Es aquí donde el grupo de Espectroscopia Nuclear Discreta, capitalizando su experiencia en física de aceleradores, está tratando de hacer aportes".

Por el momento, y volviendo a los reactores, radiobiólogos, químicos, médicos, físicos e ingenieros de la CNEA trabajan actualmente para implementar esta técnica en el reactor experimental del Centro Atómico Bariloche, donde ya se ha puesto a punto un haz de neutrones apropiado.



Hacia las computadoras cuánticas...

solver un problema de gran interés práctico: factorizar números enteros, una de las necesidades básicas de las empresas de seguridad informática que utilizan estos complejos cálculos matemáticos para crear claves de seguridad (ver recuadro). Apareció una utilidad práctica y detrás de ella los que podían llegar a obtener un beneficio: la poderosa industria de la seguridad abrió los ojos y las billeteras, y el dinero comenzó a llegar a los laboratorios que se dedicaron a estudiarlas. En otros lugares las cosas se hicieron con menos inversión, pero con resultados más que interesantes, como es el caso de la computadora cuántica que funciona en el 1º piso del Pabellón I de la Ciudad Universitaria (UBA).

Manipulando átomos

El funcionamiento de una computadora cuántica, como de la física cuántica, tiene sus bemoles, y esos bemoles exigen el no poco complejo proceso de quitarse de encima el sentido común. La idea básica es utilizar dos estados cuánticos de algún objeto para representar la información. En las computadoras comunes también la información se representa en estados físicos de ciertos materiales –que se codifican como 1 o 0– y para manipularla se usan circuitos que dejan pasar electricidad o no. Pero nuestras actuales computadoras almacenan la información utilizando un enorme número de partículas (casi cien mil millones de átomos son modificados para escribir un 0 o un 1 en un disco magnético ordinario). En cambio, al usar un único átomo por cada bit, las computadoras cuánticas tendrán otra ventaja enorme frente a sus parientes clásicas. Así, en las computadoras cuánticas se conjuga la posibilidad de ocupar poco espacio y aprovechar las características de los qbit de representar dos estados al mismo tiempo.

Cerebro en cloroformo

La computadora cuántica local funciona en el interior de un gran espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) que consta de un imán superconductor muy poderoso, enfriado dentro de un tanque de helio y nitrógeno líquidos. En su interior se encuentra el verdadero cerebro informático: un tubito con un compuesto químico que es manipulado para codificar ceros y unos y hacerlos actuar para procesar información.

"En una computadora cuántica es necesario controlar el estado cuántico de la computadora a nivel de obligar a cada bit a ser 0, 1 o cualquier otra cosa intermedia que uno quiera. Pero es difícil decir "quiero cambiar un átomo de lugar" o hacer algo que afecte a un único átomo. Lograr que los átomos se queden quietos y fríos es el Premio Nobel de hace dos años", se acalora el Dr. Juan Pablo Paz, director del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA y responsable del proyecto de la primera computadora cuántica argentina. Así planteadas las cosas, las computadoras cuánticas generan problemas prácticos sobre los que se avanza lentamente. Cualquiera que haya intentado armar alguno de los regalitos que vienen en los huevos de chocolate sabe que manipular cosas pequeñas no es tarea fácil. Mucho menos si se trata de átomos. Sin embargo los pacientes obreros de la física no se rinden. "La cosa es así: la información se codifica en una de las características de los átomos (el spin) que se comporta de esa manera particular que le permite estar en dos estados al mismo tiempo. Para codificarlos utilizamos un aparato de resonancia magnética (RMN) que tiene un imán gigante. Introduciendo pulsos de radio frecuencia puedo hacer que los 0 se vuelvan 1 u otra opción, para cada uno de los tres átomos de nuestra computadora cuántica. No escribo un programa en Fortran o Basic. Yo lo que pienso es que tengo que actuar sobre el qbit número 1 de tal manera, sobre el 2º de tal otra, para generar un encadenamiento lógico que me dé el resultado que busco", explica Paz con paciencia.

Cómo manipular una sola molécula es

En las computadoras cuánticas se conjuga la posibilidad de ocupar poco espacio y aprovechar las características cuánticas de las partículas de estar en dos estados al mismo tiempo.

La seguridad no e

La mayoría de los esquemas de seguri no y hasta transmisiones de correo electr piedades de los números primos. Los n números desde la época de Aristóteles. ritmos para descomponer un número mu razonable.

El más conocido método de seguridad la dificultad de factorizar un número gra nte principio: es muy fácil codificar una dos números primos pues multiplicar dic sencillo. Sin embargo, efectuar la opera de texto) es imposible de realizar en un ras actuales. Por eso la demostración de poder ser derribada.

Por Juan Pablo Paz

Pese a haber surgido hace c si un siglo y a tener un ca po de aplicabilidad enorme (q abarca desde la estructura de l átomos hasta el interior de las e trellas), la mecánica cuántica sig siendo tan rara y antiintuitiva com en su más tierna infancia. ¿Cuál el motivo por el que los físicos con truyen teorías que atentan abiert mente contra el sentido común? Cie tamente, no es un caso de perversi sino de necesidad. La física es una cie cia experimental, que elabora model para describir observaciones y prede nuevos fenómenos. Y, como veremo hay experimentos sencillos cuyos resu tados no pueden ser explicados a men que uno esté dispuesto a abandonar pr juicios tan bien establecidos como el q afirma que "las partículas se mueven en espacio siguiendo trayectorias bien de nidas". La ciencia, desde Galileo, oblig al hombre a abandonar el antropocentri mo y la mecánica cuántica es un paso m en esa dirección: nos enseña que no s lamente no somos el centro del Unive so sino que jamás podremos aspirar describirlo completamente usando só los conceptos adquiridos en nuestra e periencia cotidiana (y macroscópica

Experiencia antiintuitiva

Le propongo al lector que medi sobre uno de los experimentos q mejor ilustran el carácter extraño la mecánica cuántica: el famoso "e perimento de las dos rendijas". S pongamos que, tal como se ve en Figura 1, se coloca una fuente q emite partículas en el punto F. E tre la fuente F y la pantalla P, ha una pared con dos orificios (l dos "rendijas" R1 y R2). Las pa tículas que chocan contra la p

Aquí nomás

Protones y neutrones contra el cáncer

Por Agustín Biasotti

El grupo de Espectroscopia Nuclear Discreta del Departamento de Física de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que dirige el doctor Andrés Kreiner, trabaja en dos líneas de investigación que pretenden hacer aportes que permitan introducir en el país dos nuevas y prometedoras alternativas terapéuticas para el cáncer: la protón-terapia y la terapia por captura neutrónica en boro.

La primera echa mano a las partículas nucleares de carga positiva llamadas protones y en varios centros médicos del mundo constituye desde hace años una alternativa para el tratamiento de ciertos tipos de cáncer. Hasta el momento, ni la Argentina ni el resto de los países del Hemisferio Sur (Sudáfrica es la excepción) cuentan con la posibilidad de tratar a sus pacientes oncológicos con esta terapia que, a diferencia de la radioterapia convencional, daña selectivamente al tejido tumoral, con lo que afecta en mucho menor medida el tejido sano que lo rodea.

Rayos selectivos

A diferencia de los fotones que se utilizan en la radioterapia convencional, que van disminuyendo su energía a lo largo de toda su trayectoria –desde que ingresan en el organismo hasta mucho después de haber alcanzado el tumor–, los protones depositan casi toda su energía al final de su recorrido. Al graduar la energía, y con ello la profundidad y la dirección del haz de protones, es posible enfocar el haz en el tumor. De esta forma, los tejidos sanos que se encuentran antes reciben muy poca radiación y los que están más allá no reciben radiación alguna. Esto hace de la protón-terapia una muy atractiva opción para tratar los tumores que se encuentren alojados o muy cerca de órganos sensibles como la próstata o el cerebro, que se ven seriamente afectados por la radiación.

"Por el momento, una de las pocas limitaciones de esta terapia es que el tumor a tratar debe estar ubicado en una zona del cuerpo que permanezca quieta, ya que la delimitación exacta de la posición y de la geometría del tumor es imprescindible para aprovechar las ventajas del haz de protones", apunta uno de los físicos de este equipo de investigación, el doctor Daniel Hojman. "Aún así, investigadores de Alemania y Japón ya están trabajando en tratar de sincronizar el haz con los movimientos de algunos órganos", agrega el doctor Kreiner.

"En el acelerador de partículas Tandar hemos logrado producir un haz externo de protones y lo estamos utilizando, en colaboración con un grupo de investigadores del Departamento de Radiobiología de la CNEA, para irradiar cultivos celulares y animales de laboratorio. Nuestro objetivo es constituir un grupo de trabajo para conseguir, en un futuro, un acelerador de mayor energía, ya que la que obtenemos en el Tandar no es suficiente para llevar a cabo radioterapia."

A la caza de neutrones

A diferencia de la protón-terapia, con la cual ya han sido tratados más de 20.000 pacientes, la terapia por captura neutrónica en boro está aún en pañales. Si bien sus principios fueron postulados hace más de treinta años, recién se encuentra atravesando los ensayos clínicos que pretenden determinar cuál es la dosis adecuada. Esquemáticamente, esta terapia se realizaría de la siguiente forma: primero se "dopa" al tumor con alguna sustancia rica en boro (un elemento que tiene una gran capacidad de absorber neutrones) y luego se lo irradia con un haz de neutrones, lo que produce una reacción que destruye las células tumorales sin afectar al tejido que no ha absorbido boro.

"Algunos compuestos que contienen boro tienden a fijarse selectivamente a las células tumorales", explica Hojman. "Una vez que el boro ha capturado los neutrones –continúa Kreiner–, se transforma en un núcleo inestable que explota en dos fragmentos, una partícula alfa y un núcleo de litio que se frenan inmediatamente dentro de la célula. Cuando se frenan dejan una densidad de energía *muy alta capaz de matar a las células tumorales.*"

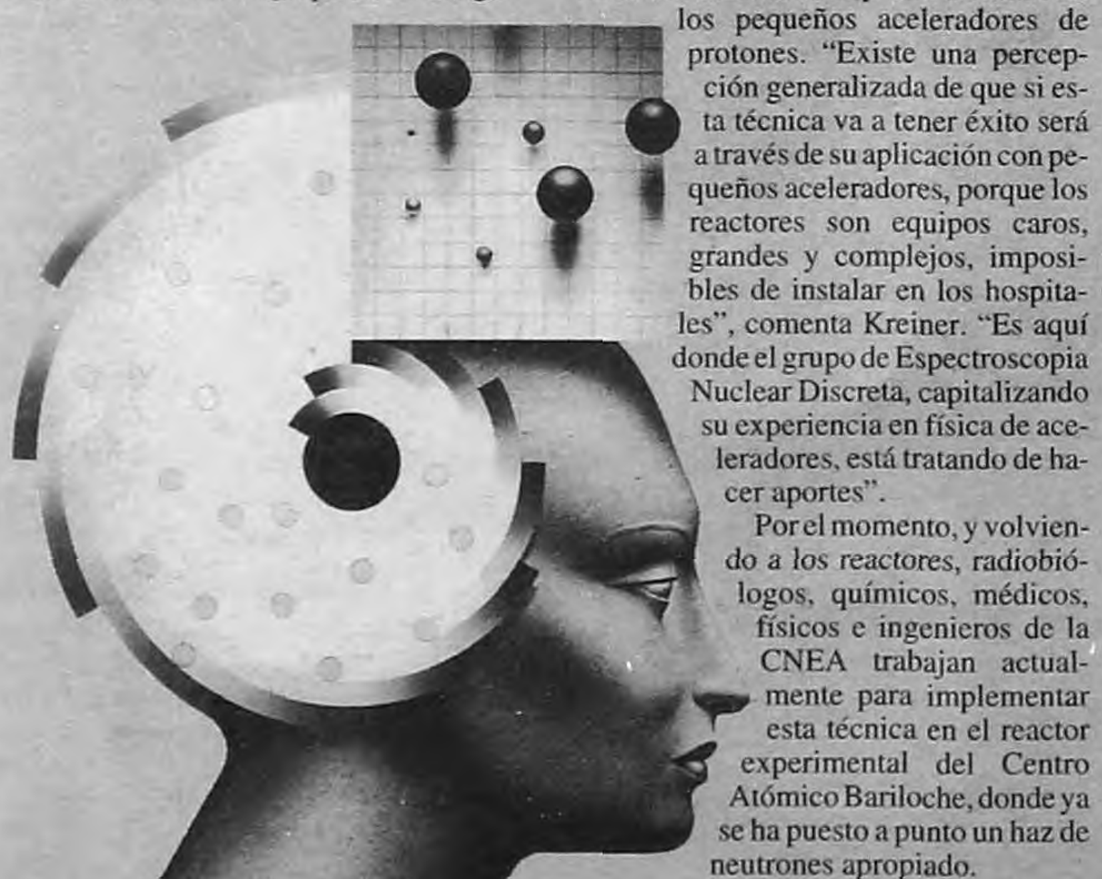
De hacerse realidad, la terapia por captura de neutrones en boro permitiría tratar tumores cerebrales muy agresivos y diseminados que no suelen responder a los tratamientos disponibles. Sin embargo, aún quedan muchas cuestiones por resolver y, entre las más importantes, se destacan: ¿cuáles son los compuestos de boro que tienen una mayor selectividad para fijarse en el tejido tumoral? y ¿cuáles son las fuentes de neutrones más apropiadas para llevar adelante esta terapia?

Con respecto al primer interrogante, son muchas las sustancias que actualmente se encuentran bajo la lupa. Según Kreiner, "los compuestos de boro disponibles se fijan entre tres y cuatro veces más en células tumorales que en tejido sano. Y si bien ésta es una buena relación, ampliarla a diez permitirá bajar notablemente la intensidad con que se irradia al paciente. La temática está siendo estudiada por investigadores del Departamento de Radiobiología de la CNEA".

Aceleradores de protones

En cuanto a las fuentes de neutrones más apropiadas, si bien hoy en día se utilizan los reactores, hay una alternativa: los pequeños aceleradores de protones. "Existe una percepción generalizada de que si esta técnica va a tener éxito será a través de su aplicación con pequeños aceleradores, porque los reactores son equipos caros, grandes y complejos, imposibles de instalar en los hospitales", comenta Kreiner. "Es aquí donde el grupo de Espectroscopia Nuclear Discreta, capitalizando su experiencia en física de aceleradores, está tratando de hacer aportes".

Por el momento, y volviendo a los reactores, radiobiólogos, químicos, médicos, físicos e ingenieros de la CNEA trabajan actualmente para implementar esta técnica en el reactor experimental del Centro Atómico Bariloche, donde ya se ha puesto a punto un haz de neutrones apropiado.



Hacia las computadoras cuánticas...

solver un problema de gran interés práctico: factorizar números enteros, una de las necesidades básicas de las empresas de seguridad informática que utilizan estos complejos cálculos matemáticos para crear claves de seguridad (ver recuadro). Apareció una utilidad práctica y detrás de ella los que podían llegar a obtener un beneficio: la poderosa industria de la seguridad abrió los ojos y las billeteras, y el dinero comenzó a llegar a los laboratorios que se dedicaron a estudiarlas. En otros lugares las cosas se hicieron con menos inversión, pero con resultados más que interesantes, como es el caso de la computadora cuántica que funciona en el 1° piso del Pabellón I de la Ciudad Universitaria (UBA).

Manipulando átomos

El funcionamiento de una computadora cuántica, como de la física cuántica, tiene sus bemoles, y esos bemoles exigen el no poco complejo proceso de quitarse de encima el sentido común. La idea básica es *utilizar dos estados cuánticos de algún objeto* para representar la información. En las computadoras comunes también la información se representa en estados físicos de ciertos materiales –que se codifican como 1 o 0– y para manipularla se usan circuitos que dejan pasar electricidad o no. Pero nuestras actuales computadoras almacenan la información utilizando un enorme número de partículas (casi cien mil millones de átomos son modificados para escribir un 0 o un 1 en un disco magnético ordinario). En cambio, al usar un único átomo por cada bit, las computadoras cuánticas tendrán otra ventaja enorme frente a sus parientes clásicas. Así, en las computadoras cuánticas se conjuga la posibilidad de ocupar poco espacio y aprovechar las características de los qbit de representar dos estados al mismo tiempo.

Cerebro en cloroformo

La computadora cuántica local funciona en el interior de un gran espectrómetro de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) que consta de un imán superconductor muy poderoso, enfriado dentro de un tanque de helio y nitrógeno líquidos. En su interior se encuentra el verdadero cerebro informático: un tubito con un compuesto químico que es manipulado para codificar ceros y unos y hacerlos actuar para procesar información.

"En una computadora cuántica es necesario controlar el estado cuántico de la computadora a nivel de obligar a cada bit a ser 0, 1 o cualquier otra cosa intermedia que uno quiera. Pero es difícil decir "quiero cambiar un átomo de lugar" o hacer algo que afecte a un único átomo. Lograr que los átomos se queden quietos y fríos es el Premio Nobel de hace dos años", se acalora el Dr. Juan Pablo Paz, director del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA y responsable del proyecto de la primera computadora cuántica argentina. Así planteadas las cosas, *las computadoras cuánticas* generan problemas prácticos sobre los que se avanza lentamente. Cualquiera que haya intentado armar alguno de los regalitos que vienen en los huevos de chocolate sabe que manipular cosas pequeñas no es tarea fácil. Mucho menos si se trata de átomos. Sin embargo los pacientes obreros de la física no se rinden. "La cosa es así: la información se codifica en una de las características de los átomos (el spin) que se comporta de esa manera particular que le permite estar en dos estados al mismo tiempo. Para codificarlos utilizamos un aparato de resonancia magnética (RMN) que tiene un imán gigante. Introduciendo pulsos de radio frecuencia puedo hacer que los 0 se vuelvan 1 u otra opción, para cada uno de los tres átomos de nuestra computadora cuántica. *No escribo un programa* en Fortran o Basic. Yo lo que pienso es que tengo que actuar sobre el qbit número 1 de tal manera, sobre el 2° de tal otra, para generar un encadenamiento lógico que me dé el resultado que busco", explica Paz con paciencia.

Cómo manipular una sola molécula es algo muy complejo y difícil de medir, en la computadora de Exactas se utilizan muchas moléculas a las que se hace actuar en conjunto para que las señales magnéticas sean más fuertes. "Estas moléculas son manipuladas y todas ellas actúan de la manera que les indico. Luego dejo que los *qbits interactúen entre sí*", *explica Paz*. En esta interacción se pueden crear funciones lógicas que son las que le dan la verdadera utilidad a la información acumulada en los qbits. Modificando los primeros eslabones de la cadena actúo sobre el último que arroja un resultado. Cuando termina el procesamiento se mide la magnetización, es decir que se obtiene el resultado final.

Así funciona el corazón de esta computadora cuántica. ¿Pero dónde está el programa que le indica qué hacer?

"En este sentido la computadora cuántica es bastante similar a las comunes. Se *crea un programa en una computadora que* indica cómo debe ser la posición inicial de los átomos para procesar la información que me interesa obtener, se provoca esa posición inicial mediante pulsos de radiofrecuencia y se deja que el espacio cuántico de procesamiento elabore un resultado. Podríamos decir que el aparato de RMN es una interfaz que me permite comprender lo que sucede en el interior de la máquina, de la misma manera que un monitor me permite entender lo que en el interior de una PC está codificado como unos y ceros."

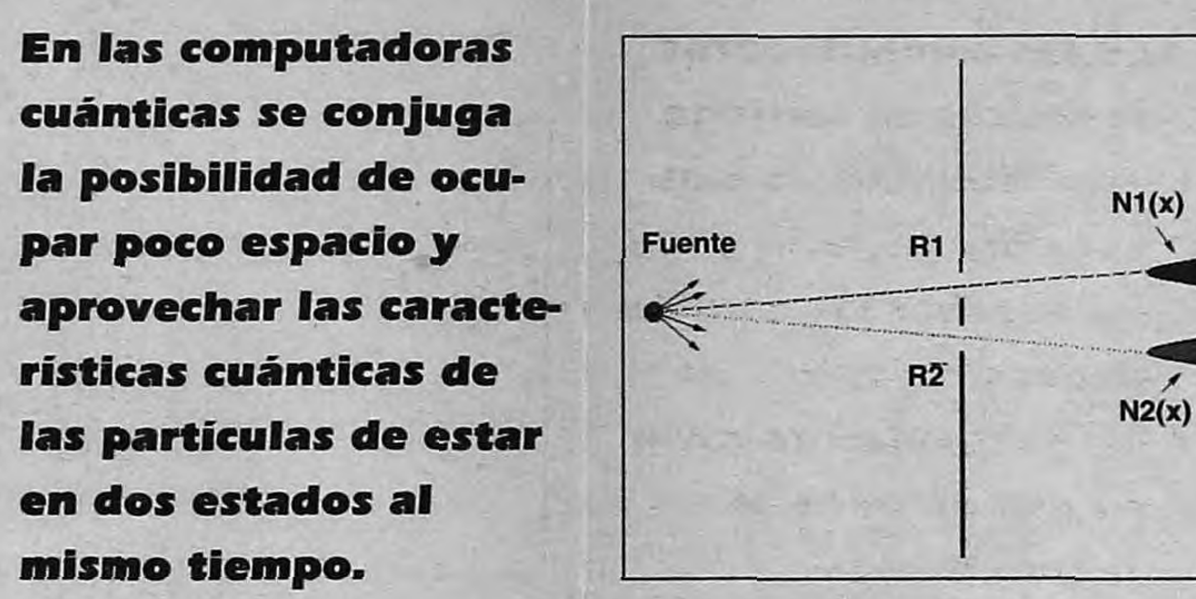
El futuro cuántico

Hasta ahora, lo que se logró es que una computadora de dos bits encuentre, en un intento, un dato escondido entre otros tres falsos: con dos átomos se cubren las cuatro posiciones al mismo tiempo.

En realidad, "la potencialidad real de la computación cuántica no se conoce", acepta Paz y admite: "No se sabe qué es lo que se puede hacer con una computadora cuántica." Lo cierto es que, si una parte de lo que prometen llega a cumplirse, pueden llegar a redefinir lo que se entiende por calcular.

De la misma manera que hace un siglo debía parecer imposible utilizar información acumulada en forma de 0 y 1 electrónicos, en la actualidad el futuro de la computación cuántica es todavía incierto, pero posible. *Es más, se podría decir que el* futuro mismo es cuántico, ya que en este momento todas las posibilidades son reales. Cuando una de ellas se concrete, de acuerdo con la limitada lógica cotidiana, va a haber tenido que elegir inclusive, si las computadoras cuánticas sirvieron para algo o no.

En las computadoras cuánticas se conjuga la posibilidad de ocupar poco espacio y aprovechar las características de las partículas de estar en dos estados al mismo tiempo.



Arriba: ondas que dibuja el agua al ser golpeado en dos puntos distintos (ver recuadro inferior)

Izquierda (figura 1): cuadro explicativo de resultados de experimentos cuánticos (ver recuadro inferior)

La seguridad no es tan segura

La mayoría de los esquemas de seguridad utilizados por bancos, agencias de gobierno y hasta transmisiones de correo electrónico a través de Internet están basadas en propiedades de los números primos. Los matemáticos estudian las propiedades de estos números desde la época de Aristóteles. Aun así, en la actualidad no se conocen algoritmos para descomponer un número muy grande en sus factores primos en un tiempo razonable.

El más conocido método de seguridad utilizado actualmente (R.S.A) está basado en la dificultad de factorizar un número grande. El algoritmo (R.S.A) se basa en el siguiente principio: es muy fácil codificar una porción de texto con una clave compuesta por dos números primos pues multiplicar dichos valores (por más grandes que sean) es muy sencillo. Sin embargo, efectuar la operación inversa (o sea, decodificar dicha porción de texto) es imposible de realizar en un tiempo humanamente útil con las computadoras actuales. Por eso la demostración de Peter Shor cruzó una barrera que no parecía poder ser derribada.

Qué es la física cuántica

Por Juan Pablo Paz *

Pese a haber surgido hace casi un siglo y a tener un campo de aplicabilidad enorme (que abarca desde la estructura de los átomos hasta el interior de las estrellas), la mecánica cuántica sigue siendo tan rara y antiintuitiva como en su más tierna infancia. ¿Cuál es el motivo por el que los físicos construyen teorías que atentan abiertamente contra el sentido común? Ciertamente, no es un caso de perversión sino de necesidad. La física es una ciencia experimental, que elabora modelos para describir observaciones y predecir nuevos fenómenos. Y, como veremos, hay experimentos sencillos cuyos resultados no pueden ser explicados a menos que uno esté dispuesto a abandonar prejuicios tan bien establecidos como el que afirma que "las partículas se mueven en el espacio siguiendo trayectorias bien definidas". La ciencia, desde Galileo, obligó al hombre a abandonar el antropocentrismo y la mecánica cuántica es un paso más *en esa dirección: nos enseña que no so*lamente no somos el centro del Universo sino que jamás podremos aspirar a describirlo completamente usando sólo los conceptos adquiridos en nuestra experiencia cotidiana (y macroscópica).

Experiencia antiintuitiva

Le propongo al lector que medite sobre uno de los experimentos que mejor ilustran el carácter extraño de la mecánica cuántica: el famoso "experimento de las dos rendijas". Supongamos que, tal como se ve en la Figura 1, se coloca una fuente que emite partículas en el punto F. Entre la fuente F y la pantalla P, hay una pared con dos orificios (las dos "rendijas" R1 y R2). Las partículas que chocan contra la pared son absorbidas y jamás llegan a la pantalla. Con este dispositivo sencillo realizaremos tres experimentos casi idénticos. En el primero destapamos la rendija R1, tapamos R2 y detectamos cuántas partículas llegan a cada punto de la pantalla. Cada vez que una partícula pega en la pantalla anotamos cuál es la posición a la que ha llegado. Al cabo de un tiempo seremos capaces de elaborar un gráfico como el de la curva N1(x) que representa el número de partículas que llegó a la posición x de la pantalla.

El resultado de este primer experimento puede entenderse fácilmente y no tiene nada de sorprendente: las partículas llegan a la pantalla acumulándose cerca de un punto que corresponde a la imagen de la fuente vista a través de la rendija R1. El segundo experimento consiste en destapar la rendija R2 y tapar R1. El resultado es análogo al anterior: el número de partículas que llega a cada punto de la pantalla está dado por la curva N2(x) (ahora las par*tículas llegan a la pantalla acumulándose* alrededor de la imagen de R2). El tercer experimento es idéntico a los anteriores, pero lo realizamos manteniendo ambas rendijas (R1 y R2) destapadas. Su resultado es tan sorprendente que fuerza una revolución conceptual.

Atómos y pelotitas de ping pong

El lector podría intentar predecir el resultado del tercer experimento usando su sentido común: parece obvio que cada partícula debería salir de la fuente F, pasar por alguna de las dos rendijas y finalmente impactar en algún punto de la pantalla. Si esto fuera cierto, al realizar el tercer experimento deberíamos comprobar que el número de partículas que llega a un punto de la pantalla es la suma de las que llegaron a ese punto en el primer experimento más las que lo hicieron en el segundo. Eso es precisamente lo que ocurre si las partículas que usamos son objetos macroscópicos (pelotitas de ping pong, por ejemplo). ¡Pero en el dominio microscópico y en condiciones de aislación extrema, el resultado del tercer experimento no es ése! Por el contrario, las partículas se acumulan tal como lo indica la curva N3(x), que muestra notables oscilaciones. Aunque parezca mentira, hay algunos puntos donde no llegan partículas en el tercer experimento siendo que a esos mismos puntos sí llegaban partículas en los dos primeros. ¡Es como si en estos puntos el efecto de una rendija abierta cancelara a la otra! La contracara de estos puntos oscuros en los que ambas rendijas "interfieren destructivamente" es que hay otros a los que llegan más partículas que en los dos primeros experimentos sumados. Experimentos como éste se han realizado usando electrones, protones, neutrones, átomos de varios electrones y, más recientemente, con nubes *formadas por algunos miles de átomos.*

En busca de una explicación

Para explicar resultados tan sorprendentes como éste, los físicos solemos buscar relaciones y analogías para lo cual es natural preguntarse si existe otro sistema físico en el cual ocurra algo similar. El ejemplo más sencillo en el que esto se observa es en experiencias de interferencia de ondas. Por ejemplo, si se golpea rítmicamente la superficie de un estanque de agua con dos bolitas, puede observarse que hay zonas del estanque que permanecen inmóviles: son aquellas en las que la cresta de la ola proveniente de una bolita coincide con el valle de la ola que origina la otra. En esos puntos las ondas que provienen de ambas bolitas interfieren destructivamente y sus efectos se cancelan. Por otra parte, si el agua fuera perturbada con una única bolita, estos puntos se moverían. La analogía entre este resultado y el de nuestro experimento de las dos rendijas es notable.

La mecánica cuántica es la teoría que permite explicar resultados experimentales como el de las "dos rendijas" y predecir nuevos fenómenos tan sorprendentes como ése. Para eso debe abandonar la idea intuitiva de que las partículas siguen trayectorias bien definidas y que pueden concebirse como entes eternamente localizados. Por el contrario la materia puede manifestarse como partícula y como onda siendo estos dos aspectos necesarios y complementarios entre sí. El resultado del experimento de las dos rendijas sugiere que aquello que hemos llamado "partícula" puede existir en un estado deslocalizado en el que ambas alternativas clásicamente excluyentes (pasar por una u otra rendija) están presentes. La computación cuántica es la disciplina que intenta usar este carácter "extraño" de la mecánica cuántica para procesar in*formación en forma novedosa. La idea* clave es que, tal que como lo hacen las partículas en el experimento de las dos rendijas, los bits cuánticos ocuparán estados en los que ambas alternativas clásicas (el 0 y el 1) estarán presentes. En esos estados la computadora cuántica realizará un número enorme de cálculos en paralelo. Este "paralelismo cuántico" es la clave de la eficiencia de las computadoras cuánticas por sobre sus parientes clásicas que, al igual que las hormigas o las pelotitas de ping pong, están siempre obligadas a seguir una trayectoria a la vez.

** Director del Departamento de Física de la Universidad de Buenos Aires.*

Datos útiles

Elefantes: ¿eran acuáticos?

NewScientist La evolución de las es*pecies presenta algunos casos realmen*te curiosos: hace unos meses se confirmó que las ballenas descienden de grandes mamíferos terrestres (ver **Futuro** 6/2/99), y ahora, parece que los elefantes descienden de grandes mamíferos acuáticos. Esta curiosa teoría acaba de ser lanzada por un equipo de biólogos australianos, que han estado estudiando varios fetos de elefantes africanos. Entre otras cosas, la doctora Ann Gaeth y sus colegas descubrieron que los riñones en desarrollo de los futuros paquidermos presentaban varios conductos en forma de embudo. Ese detalle parece no decir mucho, pero resulta que este tipo de conductos renales no existen en ningún otro mamífero vivíparo, pero sí existen en las ranas y en los peces de agua fría. Pero además, hay otras características fetales de los elefantes que son muy llamativas: una de ellas es que llevan los testículos protegidos dentro del abdomen, algo que también ocurre en algunos mamíferos marinos. A la luz de estos datos, y de otros, Gaeth y los suyos se pusieron a atar cabos. Y armaron el siguiente cuadro: los lejanos antepasados de los elefantes habrían pasado varios millones de años en el agua, e incluso, es probable que usaran sus largas trompas como un snorkel, para respirar cuando estaban sumergidos en el agua.

Rumbo a un cometa

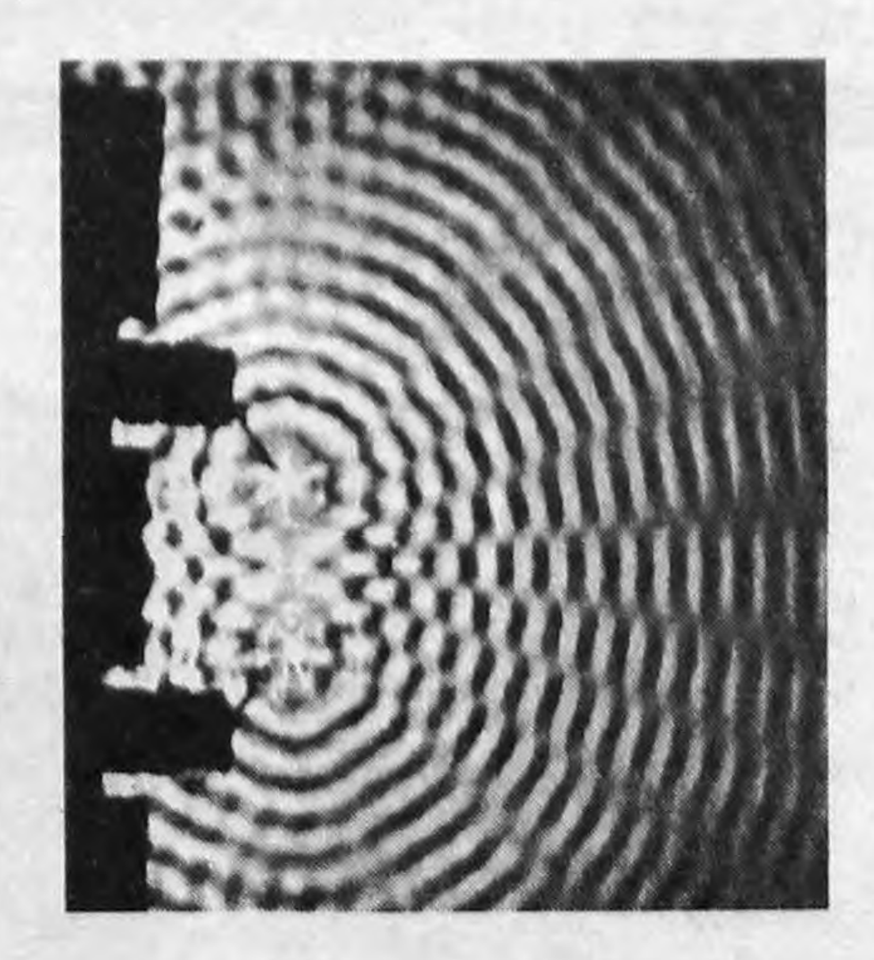


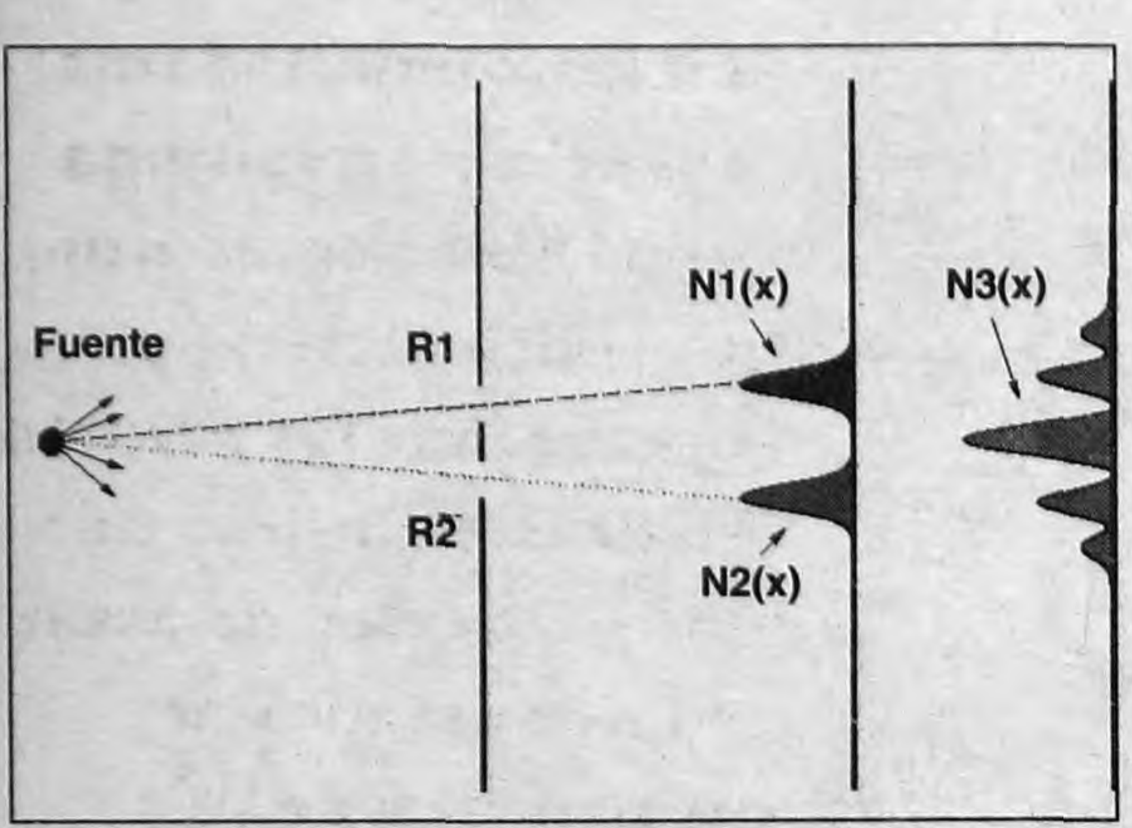
SKY En estos momentos, una pequeña nave está vagando por el espacio interplanetario cercano, en órbita solar. Y dentro de unos años, intentará hacer lo que ninguna otra nave hizo hasta ahora: acercarse a un cometa, tomar muestras del material que forma su cola, y traerlas a la Tierra para su estudio. La nave se llama Stardust, y fue lanzada por la NASA el 7 de febrero pasado. Y el cometa a visitar es el no muy popular 81P/Wild 2. A principios del 2001, la Stardust se acercará a la Tierra para tomar un envión gravitacional que la lanzará derechito hasta su objetivo. Y según las estimaciones de los científicos de la NASA, el 1° de enero del 2004, la sonda pasará a apenas 100 kilómetros de distancia del núcleo del cometa. Entonces, sus instrumentos tomarán muestras de las partículas que forman la coma y la cola del cometa. Después de su fugaz encuentro con el 81P/Wild 2, la Stardust pegará la vuelta, y llegará a la vecindad de la Tierra en el 2006. Entonces, una pequeña cápsula con las muestras cometarias se separará de ella, y caerá hasta la superficie de nuestro planeta. Si toda esta complicada carambola astronómica sale bien, los resultados científicos podrían ser realmente muy valiosos: el análisis de las muestras ayudaría a determinar la naturaleza de los cometas con suma precisión. Y teniendo en cuenta que los cometas son residuos de la nube de materia primigenia que dio origen al Sistema Solar, el asunto se hace doblemente interesante.

tan segura

l utilizados por bancos, agencias de gobier-
co a través de Internet están basadas en pro-
emáticos estudian las propiedades de estos
n así, en la actualidad no se conocen algo-
grande en sus factores primos en un tiempo

ilizado actualmente (R.S.A) está basado en
e. El algoritmo (R.S.A) se basa en el siguie-
rción de texto con una clave compuesta por
s valores (por más grandes que sean) es muy
n inversa (o sea, decodificar dicha porción
mpo humanamente útil con las computado-
eter Shor cruzó una barrera que no parecía





Arriba: ondas que dibuja el agua al ser golpeado en dos puntos distintos (ver recuadro inferior)

Izquierda (figura 1): cuadro explicativo de resultados de experimentos cuánticos (ver recuadro inferior)

algo muy complejo y difícil de medir, en la computadora de Exactas se utilizan muchas moléculas a las que se hace actuar en conjunto para que las señales magnéticas sean más fuertes. "Estas moléculas son manipuladas y todas ellas actúan de la manera que les indico. Luego dejo que los qbits interactúen entre sí", explica Paz. En esta interacción se pueden crear funciones lógicas que son las que le dan la verdadera utilidad a la información acumulada en los qbits. Modificando los primeros eslabones de la cadena actúo sobre el último que arroja un resultado. Cuando termina el procesamiento se mide la magnetización, es decir que se obtiene el resultado final.

Así funciona el corazón de esta computadora cuántica. ¿Pero dónde está el programa que le indica qué hacer?

"En este sentido la computadora cuántica es bastante similar a las comunes. Se crea un programa en una computadora que indica cómo debe ser la posición inicial de los átomos para procesar la información que me interesa obtener, se provoca esa posición inicial mediante pulsos de radiofrecuencia y se deja que el espacio cuántico de procesamiento elabore un resultado. Podríamos decir que el aparato de RMN es una interfaz que me permite comprender lo que sucede en el interior de la máquina, de la misma manera que un monitor me permite entender lo que en el interior de una PC está codificado como unos y ceros."

El futuro cuántico

Hasta ahora, lo que se logró es que una computadora de dos bits encuentre, en un intento, un dato escondido entre otros tres falsos: con dos átomos se cubren las cuatro posiciones al mismo tiempo.

En realidad, "la potencialidad real de la computación cuántica no se conoce", acepta Paz y admite: "No se sabe qué es lo que se puede hacer con una computadora cuántica." Lo cierto es que, si una parte de lo que prometen llega a cumplirse, pueden llegar a redefinir lo que se entiende por calcular.

De la misma manera que hace un siglo debía parecer imposible utilizar información acumulada en forma de 0 y 1 electrónicos, en la actualidad el futuro de la computación cuántica es todavía incierto, pero posible. Es más, se podría decir que el futuro mismo es cuántico, ya que en este momento todas las posibilidades son reales. Cuando una de ellas se concrete, de acuerdo con la limitada lógica cotidiana, va a haber tenido que elegir inclusive, si las computadoras cuánticas sirvieron para algo o no.

Qué es la física cuántica

red son absorbidas y jamás llegan a la pantalla. Con este dispositivo sencillo realizaremos tres experimentos casi idénticos. En el primero destapamos la rendija R1, tapamos R2 y detectamos cuántas partículas llegan a cada punto de la pantalla. Cada vez que una partícula pega en la pantalla anotamos cuál es la posición a la que ha llegado. Al cabo de un tiempo seremos capaces de elaborar un gráfico como el de la curva N1(x) que representa el número de partículas que llegó a la posición x de la pantalla.

El resultado de este primer experimento puede entenderse fácilmente y no tiene nada de sorprendente: las partículas llegan a la pantalla acumulándose cerca de un punto que corresponde a la imagen de la fuente vista a través de la rendija R1. El segundo experimento consiste en destapar la rendija R2 y tapar R1. El resultado es análogo al anterior: el número de partículas que llega a cada punto de la pantalla está dado por la curva N2(x) (ahora las partículas llegan a la pantalla acumulándose alrededor de la imagen de R2). El tercer experimento es idéntico a los anteriores, pero lo realizamos manteniendo ambas rendijas (R1 y R2) destapadas. Su resultado es tan sorprendente que fuerza una revolución conceptual.

Atómos y pelotitas de ping pong

El lector podría intentar predecir el resultado del tercer experimento usando su sentido común: parece obvio que cada partícula debería salir de la fuente F, pasar por alguna de las dos rendijas y finalmente impactar en algún punto de la pantalla. Si esto fuera cierto, al realizar el tercer experimento deberíamos comprobar que el número de partículas que llega a un punto de la pantalla es la suma de las que llegaron a ese punto en el primer experimento más las que lo hicieron en el segundo. Eso es precisamente lo que ocurre si las partículas que usamos son objetos macroscópicos (pelotitas de ping pong, por ejemplo). ¡Pero en el dominio microscópico y en condiciones de aislación extrema, el resultado del tercer experimento no es ése! Por el contrario, las partículas se acumulan tal como lo indica la curva N3(x), que muestra notables oscilaciones. Aunque parezca mentira, hay algunos puntos donde no llegan partículas en el tercer experimento siendo que a esos mismos puntos sí llegaban partículas en los dos primeros. ¡Es como si en estos puntos el efecto de una rendija abierta cancelara a la otra! La contracara de estos puntos oscuros en los que ambas rendijas "interfieren destructivamente" es que hay otros a los que llegan más partículas que en los dos primeros experimentos sumados. Experimentos como éste se han realizado usando electrones, protones, neutrones, átomos de varios electrones y, más recientemente, con nubes formadas por algunos miles de átomos.

En busca de una explicación

Para explicar resultados tan sorprendentes como éste, los físicos solemos buscar relaciones y analogías para lo cual es natural preguntarse si existe otro sistema físico en el cual ocurra algo similar. El ejemplo más sencillo en el que esto se observa es en experiencias de interferencia de ondas. Por ejemplo, si se golpea rítmicamente la superficie de un estanque de agua con dos bolitas, puede observarse que hay zonas del estanque que permanecen inmóviles: son aquellas en las que la cresta de la ola proveniente de una bolita coincide con el valle de la ola que origina la otra. En esos puntos las ondas que provienen de ambas bolitas interfieren destructivamente y sus efectos se cancelan. Por otra parte, si el agua fuera perturbada con una única bolita, estos puntos se moverían. La analogía entre este resultado y el de nuestro experimento de las dos rendijas es notable.

La mecánica cuántica es la teoría que permite explicar resultados experimentales como el de las "dos rendijas" y predecir nuevos fenómenos tan sorprendentes como ése. Para eso debe abandonar la idea intuitiva de que las partículas siguen trayectorias bien definidas y que pueden concebirse como entes eternamente localizados. Por el contrario la materia puede manifestarse como partícula y como onda siendo estos dos aspectos necesarios y complementarios entre sí. El resultado del experimento de las dos rendijas sugiere que aquello que hemos llamado "partícula" puede existir en un estado deslocalizado en el que ambas alternativas clásicamente excluyentes (pasar por una u otra rendija) están presentes. La computación cuántica es la disciplina que intenta usar este carácter "extraño" de la mecánica cuántica para procesar información en forma novedosa. La idea clave es que, tal que como lo hacen las partículas en el experimento de las dos rendijas, los bits cuánticos ocuparán estados en los que ambas alternativas clásicas (el 0 y el 1) estarán presentes. En esos estados la computadora cuántica realizará un número enorme de cálculos en paralelo. Este "paralelismo cuántico" es la clave de la eficiencia de las computadoras cuánticas por sobre sus parientes clásicas que, al igual que las hormigas o las pelotitas de ping pong, están siempre obligadas a seguir una trayectoria a la vez.

** Director del Departamento de Física de la Universidad de Buenos Aires.*

Datos útiles

Elefantes: ¿eran acuáticos?

NewScientist La evolución de las especies presenta algunos casos realmente curiosos: hace unos meses se confirmó que las ballenas descienden de grandes mamíferos terrestres (ver **Futuro** 6/2/99), y ahora, parece que los elefantes descienden de grandes mamíferos acuáticos. Esta curiosa teoría acaba de ser lanzada por un equipo de biólogos australianos, que han estado estudiando varios fetos de elefantes africanos. Entre otras cosas, la doctora Ann Gaeth y sus colegas descubrieron que los riñones en desarrollo de los futuros paquidermos presentaban varios conductos en forma de embudo. Ese detalle parece no decir mucho, pero resulta que este tipo de conductos renales no existen en ningún otro mamífero vivíparo, pero sí existen en las ranas y en los peces de agua fría. Pero además, hay otras características fetales de los elefantes que son muy llamativas: una de ellas es que llevan los testículos protegidos dentro del abdomen, algo que también ocurre en algunos mamíferos marinos. A la luz de estos datos, y de otros, Gaeth y los suyos se pusieron a atar cabos. Y armaron el siguiente cuadro: los lejanos antepasados de los elefantes habrían pasado varios millones de años en el agua, e incluso, es probable que usaran sus largas trompas como un snorkel, para respirar cuando estaban sumergidos en el agua.

Rumbo a un cometa



SKY & TELESCOPE En estos momentos, una pequeña nave está vagando por el espacio interplanetario cercano, en órbita solar. Y dentro de unos años, intentará hacer lo que ninguna otra nave hizo hasta ahora: acercarse a un cometa, tomar muestras del material que forma su cola, y traerlas a la Tierra para su estudio. La nave se llama Stardust, y fue lanzada por la NASA el 7 de febrero pasado. Y el cometa a visitar es el no muy popular 81P/Wild 2. A principios del 2001, la Stardust se acercará a la Tierra para tomar un envión gravitacional que la lanzará derechito hasta su objetivo. Y según las estimaciones de los científicos de la NASA, el 1º de enero del 2004, la sonda pasará a apenas 100 kilómetros de distancia del núcleo del cometa. Entonces, sus instrumentos tomarán muestras de las partículas que forman la coma y la cola del cometa. Después de su fugaz encuentro con el 81P/Wild 2, la Stardust pegará la vuelta, y llegará a la vecindad de la Tierra en el 2006. Entonces, una pequeña cápsula con las muestras cometarias se separará de ella, y caerá hasta la superficie de nuestro planeta. Si toda esta complicada carambola astronómica sale bien, los resultados científicos podrían ser realmente muy valiosos: el análisis de las muestras ayudará a determinar la naturaleza de los cometas con suma precisión. Y teniendo en cuenta que los cometas son residuos de la nube de materia primigenia que dio origen al Sistema Solar, el asunto se hace doblemente interesante.

LIBROS

¿Qué es el sexo?

Lynn Margulis y Dorion Sagan
Tusquets, 256 páginas



Continuando la línea propuesta en *¿Qué es la vida?*, Lynn Margulis y Dorion Sagan se proponen en este nuevo trabajo dilucidar de forma original rigurosa e integral la irrupción repentina del sexo como forma de reproducción vital. ¿Por qué habiendo organismos vivos que se reproducen tranquila y asexualmente de manera exitosa, optaron otros por la reproducción sexual que resulta en un gasto de energía mucho mayor y que reside en un proceso mucho más complicado que la simple división celular? La respuesta está ya un poco en la pregunta: la energía, la innovación de procesos. Margulis y Sagan postulan "el imperativo meiótico" como sólida base de la sexualidad, base que reside en el proceso –no en la necesaria existencia de géneros diferentes– y en la existencia de un trasfondo termodinámico.

En *¿Qué es el sexo?* la mirada biológica se conjuga con una visión física acerca de la entropía involucrada en los procesos sexuales y, finalmente, una constante reflexión y propuesta filosófica. La aparición del sexo dio origen también, en una especie de caída del edén mitótico de la biología, a la muerte. Eros y Tánatos tienen un origen común, en la meiosis.

AGENDA

Las charlas de los viernes en la Facultad de Exactas

Este viernes 4 de junio la charla de los ídem, un clásico de la Facultad de Exactas de la UBA (Ciudad Universitaria) en el que profesores y alumnos se encuentran para charlar sobre ciencias, el orador principal será Víctor Ramos, profesor titular del Departamento de Geología de la misma facultad. El tema de la reunión será "¿Se pliegan las montañas?" Como siempre están invitados no sólo los especialistas en el tema sino también todas las personas con curiosidad y ganas de intercambiar opiniones. El horario es las 17 horas y el lugar el pabellón II.

Biotecnología y sociedad

El 16 y el 17 de noviembre se realizará en la Facultad de Derecho de la UBA el seminario sobre Biotecnología y Sociedad dirigido por Salvador Bergel (UBA) y Alberto Díaz (UNQ). Información en Florida 537, piso 18°, (1005), 4322-0033 (int. 278), fax: (5411) 4322-6970.
e-mail: n.lynch@ezabog.com.ar

Restos de Supernovas

El Club de Astronomía Ingeniero Félix Aguilar invita el sábado 29 a las 18 hs. a asistir a la charla de David Fortune sobre "Gravitación mecánica" en la Casa de la Cultura de Vte. López, Ricardo Gutiérrez 1060 (Olivos). El viernes 4 de junio se expondrán trabajos internos de observación en el Observatorio, en Bouchardo 2556. El sábado 5, nuevamente en la Casa de la Cultura, el Lic. Alejandro Di Baja hablará sobre "Vida en el Universo" a las 18 hs. Para más información llamar al 4799-7112 o al 4747-7499.

Mensajes a FUTURO
futuro@pagina12.com.ar

Relato de un anacronismo

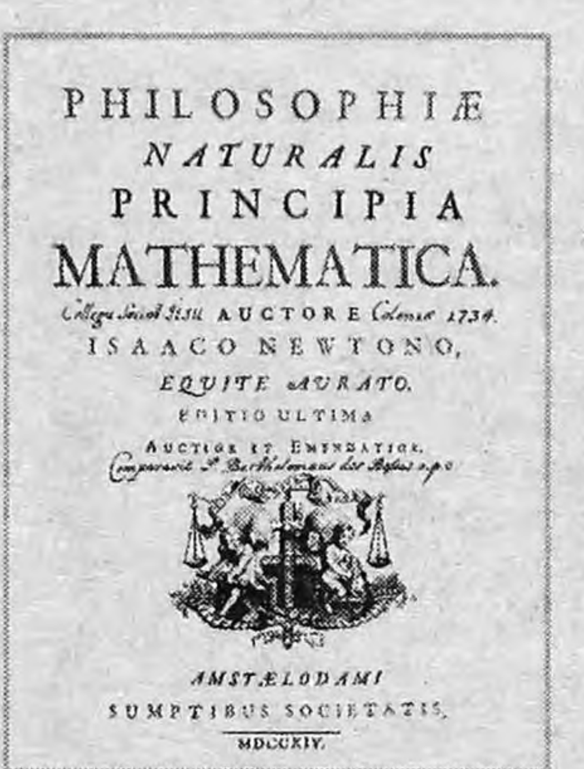
La constante de Newton

Por Antonio Moreno González *
(*El País*, de Madrid)

Sir Isaac Newton (1642-1727), en su *Philosophiae naturalis principia mathematica* (1687), establece que el supuesto orden universal se rige por una ley –la de la gravitación– según la cual la fuerza ejercida entre objetos celestes aumenta proporcionalmente al producto de sus masas y disminuye según el cuadrado de la distancia que los separa.

En los libros de texto de Física, desde los niveles primarios a los universitarios, así como en cualquier estudio o publicación donde se aluda a la gravitación universal, aquella ley newtoniana se expresa, en su forma más simple, como F=G: m m''/d2, donde G es la llamada constante de la gravitación universal. Dicha constante permite que ambos términos sean homogéneos, es decir, que las unidades en que se mide la magnitud fuerza coincidan con la combinación de las unidades en que se mide el resto de las magnitudes del segundo miembro, incluyendo las unidades correspondientes a G. De esta forma se puede pasar de la proporcionalidad propuesta por Newton a la igualdad que encontramos en los libros.

Pues bien, creo poder asegurar que en todos los textos y publicaciones donde se aluda a esta ley es unánime la afirmación que Henry Cavendish (1731-1810) fue el primero en medir G mediante un histórico experimento utilizando una balanza de torsión. La primera precisión, bastante desconocida, es que aquella balanza fue construida por su amigo el reverendo John Michell, con la intención de calcular la densidad de la Tierra. Michell falleció en 1793 sin haber concluido el experimento que entonces se consideraba crucial para dilucidar entre las teorías contrapuestas sobre la solidez o fluidez del interior del planeta. Se trataba, por tanto, de aportar soluciones a un problema geológico. La segunda precisión, más trascendente, es que Cavendish no hizo la medida de G que se le atribuye. Midió lo que Michell pretendió medir, la densidad de la Tierra, concluyendo que "resulta ser 5,48 veces la del agua". Y así termina el artículo 'Experimento para determinar la densidad de la Tierra', publicado en las *Philosophical Transactions* (1798) de la Royal Society londinense, sin ninguna referencia a la constante G ni siquiera a Newton, aunque sí aplica la ley propuesta por él para comparar fuerzas gravitatorias entre masas diferentes.


PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.
AUCTORE
ISAACO NEWTONO,
EQUITE AURATO.
EDITIO ULTIMA
AMSTÆLODAMI
SUMPTIBUS SOCIETATIS.
MDCCXIV.


Isaac Newton (1642-1727), fundador de la física moderna.

En los intentos de medir la densidad de la Tierra, precedieron a Cavendish Bouguer, que lo hizo en los Andes, y Nevil Maskelyne, en las montañas de Schiehallion, obteniendo resultados por debajo del de Cavendish, que sí fue pionero en hacer el experimento en el laboratorio. Lo cierto es que, conocida tal densidad, fácilmente se obtiene G, pero esto no lo hizo ninguno de los mencionados, a pesar, y para mayor confusión, de que la propia Royal Society dedicara en 1982 una placa en la montaña escocesa a Maskelyne, con motivo de su 250° aniversario, donde reza que fue "el primero en medir G". Lo anacrónico es datar en el mismo tiempo las medidas de la densidad terrestre y de G, cuando de ésta no se preocupan los físicos, por razones fundamentadas en la evolución de la propia física y su matematización, hasta finales del siglo XIX, sin que por el momento pueda asegurarse quién fue el primero en incluirla en la fórmula de Newton.

Me percaté de este anacronismo durante una estancia sabática en la Universidad de New South Wales (Sidney) el año 1996 y la advertencia sobre el mismo se publicó en el texto de Física para 2° de bachillerato LOGSE (McGraw Hill), en 1998. En enero de 1999, el profesor Sean P. Lally, de Sewickley Academy, en Pensilvania, acaba de publicar una nota en *ThePhysics Teacher* dando cuenta del mismo hecho. Esperemos que a partir de ahora, 'levantada la perdiz', vaya desapareciendo tan gratuita como equívoca afirmación, cuyo único origen es sencillamente no haberse leído el trabajo original de Cavendish.

** Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad Complutense (Madrid).*

Cartas de lectores

Un matemático contra Sokal

Contrariamente a lo que parece ser el caso con Lacan, Kristeva y los posmodernistas franceses, la solidez intelectual de Sokal y Bricmont –y por ende, su autoridad para enjuiciar a otros– no requiere de más que unas pocas líneas para ser desvirtuada, sobre bases estrictamente científicas e independientes de los méritos de sus criticados. Afirmaciones como que los números irracionales no tienen nada que ver con los imaginarios (sic) –específicamente, que la raíz de dos tiene mucho que ver con Pi pero nada que ver con la unidad imaginaria i–, o que los predicados no tienen nada que ver con las funciones, o que las propiedades de transfinitos no-numerables son a priori irrelevantes para el estudio de sistemas numerables, parecen haber superado el escrutinio de editores y críticos tan aceitadamente como aquella primera estafa de Sokal sobre gravedad cuántica, y por el mismo motivo (las credenciales "científicas" de los autores). Se nota que nadie leyó el libro con suficiente ojo crítico. Yo tampoco: esas tres afirmaciones se encuentran a lo largo de sólo quince páginas, lo que augura al menos sesenta equivocaciones similares en todo el libro y aplaca cualquier posible entusiasmo original. Las primeras dos opiniones, por pueriles y engañosas que sean, son sólo eso, opiniones. Pueriles para los expertos, claro, pero eso es lo que nuestros autores supuestamente son. La verdadera viga en el ojo de Sokal y Bricmont es la tercera, sobre los transfinitos. La verdad es exactamente lo contrario: el uso sistemático de conjuntos no-numerables (continuos) para extraer propiedades de sistemas numerables, o aun finitos, es crucial, y muy común, en Lógica, en Matemáticas y en Física. ¿Quizá nuestros autores querían referirse implícita y específicamente a la Hipótesis del Continuo, el Axioma de Elección o a la Lingüística? Claro, ellos jamás se plantean tales "quizás" al ridiculizar a sus víctimas, pero seamos benévolos. El hecho es que la afirmación sigue siendo falsa, en todos los casos, y como consecuencia directa de teoremas de la Teoría de Conjuntos. Es obvio que nuestros autores tienen sólo una vaga idea de esta teoría (al fin y al cabo son físicos, no lógico-matemáticos... ni psicoanalistas, ni lingüistas), lo que no los priva de incluir un extenso capítulo para explicárnosla, y de paso denunciar como terroristas intelectuales (sic) ¡a aquellos que la mencionan sin entenderla!

Semejantes equivocaciones me han llevado a pensar que el libro es en realidad un chiste, como el artículo sobre gravedad cuántica aunque mucho más sutil, ya que ha conseguido engañar tanto a posmodernistas franceses como a neopositivistas anglosajones –y argentinos–. Pero broma o no, tiene una importante moraleja para nuestros jóvenes interesados en los fundamentos científicos de las humanidades: deben aprender a cuidarse tanto, o más, de algunos de sus autodesignados vigilantes cuanto de los supuestos bandidos.

Aroldo Kaplan
Doctor en Matemáticas
CIEM-CONICET
Facultad de Matemáticas, Astronomía y Física
Universidad de Córdoba